Lane Medical Library

(Aus der Psychiatrischen- und Nervenklinik der Universität Greifswald)

Ueber Schädigungen des menschlichen Körpers, insbesondere des peripheren Nervengebietes, durch elektrische Starkströme

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Universität Greifswald

vorgelegt von

Rudolf Nolte

aus Minden in Westfalen

JAN
LIBR

Greifswald

Buchdruckerei Hans Adler Inh.: E. Panzig & Co.

1929

Eingereicht im Dezember 1928

Gedruckt mit Genehmigung der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität Greifswald

Dekan: Professor Dr. Meisner
Referent: Professor Dr. Krisch
Correferent: Professor Dr. Forster

Mit der ständig zunehmenden Ausbreitung des Starkstromnetzes, das Lichtnetz einbegriffen, hat naturgemäß die Zahl der durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Unfälle ebenfalls bedeutend zugenommen. Genauere Angaben liegen allerdings nur bei den Unfällen vor, die in irgendeiner Form zu Ersatzansprüchen an Berufsgenossenschaften, Unfallversicherungsanstalten und dergleichen geführt haben, also bei den sogenannten „angemeldeten Unfällen". Bei einer seit etwa 20 Jahren annähernd gleichbleibenden Gesamtunfallzahl von 16—18 000 im Jahre stieg die Zahl der elektrischen Unfälle von 4 % im Jahre 1908 auf heute etwa 12 %. Unterbrochen wurde diese aufsteigende Linie nur während des Weltkrieges und in den ersten Nachkriegsjahren, einer Zeit, in der bei einer leichten Gesamtunfallverminderung ein stärkerer prozentualer Rückgang der elektrischen Unfälle zu verzeichnen war.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, daß im Folgenden unter einem elektrischen Unfall immer nur ein solcher verstanden werden soll, bei dem durch direkten Stromdurchgang durch den menschlichen Körper Schädigungen aufgetreten sind, unter Ausschluß derjenigen Unglücksfälle, bei denen an elektrischen oder auch nur elektrisch betriebenen Maschinen mechanische Verletzungen stattgefunden haben. Diese strenge Scheidung wird jedoch leider nicht genau durchgeführt, da ja bei nachgewiesenem Zusammenhang zwischen Unfall und Verletzung der Hergang des Unfalls für den Begutachter viel weniger von Wichtigkeit ist als die bei dem Verunglückten bestehenden Verletzungsfolgen, es also für die Beurteilung eines Unfallverletzten ziemlich gleichgültig ist, ob etwa einem Mann ein Arm in einer elektrischen Maschine abgequetscht wurde oder aber, ob eine vorangegangene elektrische Verletzung zu einer Amputation geführt hat.

Man könnte also rein rechnerisch zu dem Schluß kommen, daß die Zahl der echten elektrischen Unfälle in der Gesamtunfallzahl als geringer anzusehen ist. Diese vermutete, sicher aber nicht erhebliche Verringerung dürfte aber wohl mehr als ausgeglichen werden, wenn man in Betracht zieht, wie viele elektrische Unfälle sich ereignen, die sich statistisch gar nicht erfassen lassen, nämlich die Unfälle, die sich nicht in der Berufsbetätigung oder der Öffentlichkeit, sondern etwa in der Wohnung zutragen und die nur dann amtlich bekannt werden, wenn es sich um schwere Schädigungen oder gar um Ausgang in Tod handelt. Und wohl nur aus diesem Grunde läßt es sich einigermaßen erklären, warum in der an sich sehr umfangreichen Literatur so außerordentlich wenig Fälle sich finden, in denen die Rede ist von Schädigungen, die nur in leichteren oder schwereren Lähmungserscheinungen im peripheren Nervengebiet bestehen, während es sich in der Mehrzahl der Veröffentlichungen um ausgesprochene Verletzungen, Verbrennungen oder um Todesfälle handelt.

Einige Fälle von Starkstromschädigungen, die lediglich das periphere Nervengebiet betrafen, finden sich in einer Arbeit von *Horn* (Lit. Nr. 7), in der neben ausführlichen Untersuchungsergebnissen auch auf den elektrischen Mechanismus bei der Entstehung der Verletzung eingegangen wird. Ein besonders eindrucksvoller Fall ist der eines Mannes der nach — allerdings nur mittelbarer — Blitzschädigung, eine lediglich das Gebiet des n. cruralis betreffende schlaffe Lähmung mit Atrophie und Sensibilitätsstörungen ohne Entartungsreaktion davontrug.

In einem anderen Falle trat nach Durchtritt eines 220-Volt-Stroms durch den rechten Arm eine schlaffe Lähmung des Armes mit erheblicher Atrophie auf, die faradische Erregbarkeit aller drei Armnerven, besonders des n. radialis, war herabgesetzt, im Radialis- und Medianusgebiet trat Anodenschließungszuckung vor der Kathodenschließungszuckung auf.

Ein dritter Fall betrifft eine Blitzschädigung des rechten Arms und Beins; außer cerebralen Störungen fand sich eine

schlaffe Lähmung der betroffenen Gliedmaßen mit herabgesetzter faradischer Erregbarkeit ohne Entartungsreaktion, daneben geringe Sensibilitätsstörungen. Der Fall ging in Heilung aus, ebenso wie ein weiterer, bei dem 20 Jahre nach einem Blitzschlag in den rechten Arm nur eine Herabsetzung der rohen Kraft aber keine Änderung der elektrischen Erregbarkeit sich fand.

In dem Fall von *Fischl* (Lit. Nr. 4) hatte ein Mann, auf einem eisernen Gerüst stehend, mit der rechten Hand Berührung mit einer 5000-Volt-Leitung bekommen, wonach eine spastische Lähmung der oberen Extremitäten und der oberen Teile der Rumpfmuskulatur auftrat. Obwohl hier die Lähmung durch eine Schädigung des Hals- bzw. oberen Brustmarks verursacht sein dürfte, sei sie doch erwähnt, einmal im Gegensatz zu den bisher angeführten Fällen, sodann aber auch, weil der Verunglückte überhaupt am Leben geblieben ist, obwohl das Herz in der Hauptrichtung des Stromes lag, der zudem, wie die schwere Lähmung beweist, noch von beträchtlicher Stärke gewesen sein muß. Es trat Spontanheilung ein.

Mader (Lit. Nr. 19) beschreibt einen Unfall, hervorgerufen durch Berührung eines herabgerissenen Telegraphendrahtes, der über einer Hochspannungsleitung lag. In beiden Beinen, der Eintrittsstelle, traten schmerzhafte Streckkrämpfe auf, die *Mader* als örtliche Reizzustände auffaßt; die faradische Erregbarkeit war heraufgesetzt. Es erscheint aber durchaus nicht ausgeschlossen, daß — wie in dem Fall von *Fischl* — eine spinale Schädigung zum mindesten gleichzeitig bestanden hat. Alle Erscheinungen waren nach einer Woche geschwunden.

Waren schon die beiden letzten Fälle keine eigentlichen peripheren Lähmungen, sondern in der Hauptsache central bedingte, so sind vielfach die Verletzungsfolgen nur mit kurzen Worten angeführt, so daß pathologische Zustandsbilder daraus nicht abgeleitet werden können.

Es sei daher nur noch auf einen Fall *Jellineks* hingewiesen, der eine Stromschädigung betrifft, die unter dem Bild

einer Neuritis des n. radialis verlief und so ein Gegenstück zu dem oben erwähnten Fall von *Horn* darstellt.

Noch ein Punkt fällt bei der Durchsicht der Literatur auf, nämlich die recht hohe Zahl der in kleineren landwirtschaftlichen Betrieben Verunglückten, eine Zahl, die in keinem Verhältnis steht zu der Zahl der Betriebe, wenn man zum Vergleich die große Menge elektrischer Großbetriebe mit ihrer sehr starken Belegschaft heranzieht. Genauere zahlenmäßige Angaben liegen zwar nicht vor, aber die Erklärung hierfür scheint mir auf der Hand zu liegen:

Die Mehrzahl der elektrischen Unfälle, von denen Fachleute, also Ingenieure, Elektrotechniker, Monteure und ähnliche betroffen werden, sind auf sogenannte „unglückliche Zufälle" zurückzuführen, also, grob gesprochen, auf Berührung mit dem Strom, wenn der Betreffende in der Annahme arbeitet, die Arbeitsstelle sei stromlos, dieses aber in Wirklichkeit nicht der Fall ist; sei es nun, daß der Strom tatsächlich nicht unterbrochen wurde, oder aber, — was ebenfalls eine oft sich vorfindende Gefahrenquelle darstellt —, daß durch irgendeinen Fehler der Isolierung oder auch irgendeine, oft weit von der Arbeitsstelle liegende, metallische Berührung „vagabundierende Ströme" das Arbeitsgebiet gefährden, der Beschäftigte sich also nicht im Zustand der „Strombereitschaft" befindet, ein Begriff, auf den weiter unten noch eingegangen werden soll. Weit seltener sind bei Fachleuten die Unfälle, die durch tatsächliche Außerachtlassung der gebotenen Vorsichtsmaßnahmen eintreten. Und dieser Umstand gerade ist es, der bei Entstehung von Unfällen in kleineren landwirtschaftlichen und ähnlichen Betrieben eine überragende Rolle spielt, weil es sich in den meisten Fällen um Leute handelt, die mit dem Wesen des elektrischen Stroms recht wenig vertraut sind, die nur notdürftig vom Fachmann einige wenige zur Bedienung der Maschine erforderliche Handgriffe erlernt haben. Dies dürfte wohl die stichhaltigste Erklärung für das oben angegebene Mißverhältnis zwischen Betriebsgröße und Unfallzahl sein.

Bevor nun auf die animalischen körperschädigenden Einflüsse des elektrischen Stroms näher eingegangen wird, soll

noch in aller Kürze von der Eigenart der Stromverhältnisse soviel gesagt werden, wie zum Verständnis notwendig ist. Von Wichtigkeit ist da zunächst die Qualität des Stroms, Gleichstrom oder Dreh-, bzw. Wechselstrom, sodann Spannungsgröße (Voltzahl) und Stärke (Ampèrezahl) des Stromes. Bei Besprechungen von Entstehungsursachen stattgehabter elektrischer Unfälle, sei es nun in Zeitungen oder Unfallanzeigen, findet sich, wenn überhaupt, die Mitteilung, daß der Verunglückte mit einem Strom von bestimmter *Volt*zahl Kontakt bekommen und davon irgendwelche Schädigungen davongetragen hat. Es wird also lediglich Wert auf die Spannung gelegt und die Stromstärke ganz außer Acht gelassen. Nun wird der Kundige zwar im allgemeinen aus der Spannungsgröße und der Art des Betriebes entnehmen können, ob es sich um Gleich- oder Wechselstrom gehandelt hat, die ja, wie noch erörtert werden wird, verschiedene Wirkungen auf den Körper haben, wird aber über die Stromstärke und die Zeit der Berührung, zwei äußerst wichtige Komponenten für die Schwere der Verletzung, völlig im unklaren bleiben. Es würde demnach sehr schwierig, fast unmöglich sein, selbst wenn man Gelegenheit hätte, die angerichteten Verbrennungen oder sonstigen Verletzungen bald nach dem Unfall zu sehen, aus der bekannten Spannung, allenfalls auch noch aus der Art des Stromes und dessen Wirkung auf den Verletzten irgendeine Systematik der Stromverletzungen zu schaffen, und wir würden hier auch heute noch im wesentlichen unklar sehen, wenn nicht einige Autoren, in erster Linie *Jellinek* (Lit. Nr. 10), an den verschiedensten Tieren, Säugern und Kaltblütern, sowie an menschlichen Leichenteilen umfangreiche Versuche angestellt hätten, aus deren Ergebnis heraus erst viele Unfälle in ihrer Mechanik offensichtlich geworden sind. Diese Versuche, die sich sowohl auf Ein- und Austrittsstelle des Stromes, Stromstärke, Spannung, Qualität, Einwirkungsdauer erstreckten, noch dazu auf sonstige Begleitbedingungen, wie Luftfeuchtigkeit, Bodenbeschaffenheit (Linoleum, Fliesen, Beton und Eisen), sind zu umfangreich, als daß auf sie des näheren eingegangen werden

könnte, es sollen daher hier nur ihre Ergebnisse besprochen werden.

Einmal hängt die Stromwirkung natürlich von der Spannung ab, nicht nur wegen der im allgemeinen mit steigender Voltzahl zunehmenden Stromstärke, deren Einfluß noch erörtert werden wird. Auch bei gleichbleibender, verhältnismäßig niedriger Stromstärke wird ein höher gespannter Strom immer umfassendere Zerstörungen zur Folge haben, als ein niedriger gespannter, wie durch zahlreiche Tierversuche belegt ist. Die zu medizinischen Zwecken benutzten Hochspannungsströme können hier außer acht gelassen werden, da ja bei ihnen die Stromstärke so gering ist, daß sie nach Milliampere gezählt wird.

Das zweite wichtige Moment bildet die Stromstärke, wobei es allerdings nicht gelungen ist, eine der Pharmakologie ähnliche Maximaldosis festzulegen, so daß man nicht in der Lage ist, zu sagen, daß ein Strom von einer bestimmten Spannung der Stärke an aufwärts stets tödlich wirken wird. Daher rühren ja auch die Schwierigkeiten bei der Hinrichtung mit dem elektrischen Stuhl, bei der man einen Strom von wechselnder Stärke und Spannung für längere Zeit durch den Körper gehen läßt. Man ist hier von der Überlegung ausgegangen, daß einmal die länger dauernde Einwirkung eine verheerendere Wirkung erreichen würde und dann von der Erfahrungstatsache, daß bei irgendeinem Punkt der Stromstärkeskala der Körper tödlich geschädigt wird. Hiermit ist noch nicht gesagt, welches im gegebenen Fall die unmittelbare Todesursache gewesen ist; darüber herrscht noch immer keine völlige Klarheit. Man hat zwar eine Störung in dem Reizleistungssystem des Herzens, als deren Folge Kammerflimmern auftrat, dafür verantwortlich gemacht, in andern Fällen war es hingegen nachweislich ein primärer Atemstillstand, ohne daß man aus Stromqualität und -anordnung heraus eine bestimmte Ursache dafür angeben konnte.

Soviel über den Strom selbst. Aber auch die Körperverfassung und der Zustand des umgebenden Raumes spielt

eine wesentliche Rolle. Da ist zunächst der Widerstand, den die animalischen Gewebe dem Stromdurchtritt engegen setzen, und zwar hat man zu unterscheiden zwischen dem Widerstand der Eintrittsstelle, dem der Austrittsstelle und dem Durchgangswiderstand. Dieser letzte ist beim Menschen so klein, daß er bei Berechnungen für die Praxis außer Acht gelassen werden kann, etwa 1000 Ohm. Der wichtigste Punkt ist das Verhältnis zwischen Eintritts- und Austrittswiderstand. Ist der erste sehr groß, also etwa im Falle der Strom durch die mit Handschuhen versehene Hand oder durch den bedeckten Kopf eintritt, so kann der Wert des Austrittswiderstandes (W_A) ebenfalls vernachlässigt werden, da ja dann nur wenig Strom in den Körper eingetreten ist. Tritt aber, wie es bei den meisten Unfällen der Fall ist, der Strom durch die ungeschützte Hand oder den bloßen Kopf ein, hängt das Schicksal des Betroffenen einzig von der Größe des W_A ab. Ist die Austrittsstelle die andere, vielleicht ebenfalls unbedeckte oder gar schweißfeuchte Hand, so sind die ungünstigsten Verhältnisse gegeben. Mit wachsendem W_A wird die Gefahr wieder geringer; ist der W_A unendlich groß, z. B. bei mit Gummisohlen versehenen Schuhwerk oder bei Aufenthalt auf einem anderen schlechten Leiter, als welcher schon ein Holzstuhl angesehen werden kann, so wird der Körper nur von einem Ladestrom getroffen, der nicht empfunden wird und auch keine Schädigung der Körpergewebe verursacht.

Nun muß noch ein Punkt besprochen werden, auf den schon oben hingewiesen wurde, der aber nicht durch physikalische Gesetze erklärt werden kan, sondern mehr oder ausschließlich psychischer Natur ist, die sogenannte *„Strombereitschaft"*. Von welch ungeheurer Bedeutung diese ist, erhellt aus den vielen Fällen, in denen Monteure oder sonstige mit dem elektrischen Strom vertraute Personen aus Mutwillen hochgespannte Leitungen berühren, ohne daß sie, im Bewußtsein des Kommenden, nachweisliche Schädigungen davon tragen, wie man das ja täglich bei Lichtinstallateuren beobachten kann. Handelt es sich hier um verhältnismäßig

geringe Spannungen — unter vorläufiger Außerachtlassung der Stromstärke — so finden sich auch zahlreiche Beispiele von unter Strombereitschaft ausgeführter Berührung von Hochspannung, in denen sich als Zeichen des stattgehabten Stromdurchgangs Strommarken an der Ein- und Austrittsstelle fanden, ohne daß im übrigen der Körper nachweislich in Mitleidenschaft gezogen wäre, so bei dem in *Jellineks* neuester Veröffentlichung (Lit. Nr. 9) erwähnten Monteur, der, auf einem eisernen Träger stehend — also besonders gut geerdet — eine 10 000-Volt-Anlage berührte, in der Absicht, sich zu überzeugen, ob die Anlage stromlos gemacht sei, wie er annehmen mußte, und der, als sich das Gegenteil erwies, außer geringen Verletzungen an Zeigefinger und Fußballen unbeschädigt blieb.

Liegt in diesem Falle, wie auch in vielen ähnlichen, eine hohe Strombereitschaft eines Mannes vor, der nach seiner Vorbildung und Erfahrung nicht nur darüber im klaren ist, daß er überhaupt einen Schlag bekommen könne, sondern vor allem auch darüber, was ihm bei Berührung der hochgespannten Leitung zustoßen könne, so fehlt dieses zweite Moment in allen den Fällen, in denen Leute aus Mutwillen Starkstrom-Kontakt suchen, denen das Verständnis für die möglichen Folgen durchaus abgeht, die nicht imstande sind, den Unterschied zwischen Hoch- und niedrig gespannten Strömen einigermaßen zu begreifen, die eben nur wissen, daß sie wahrscheinlich einen Schlag bekommen werden. Kann man auch in diesen Fällen von „Strombereitschaft" sprechen? Theoretische Erwägungen mögen wohl zunächst dazu führen, diese Frage zu verneinen oder wenigstens mit Einschränkung zu bejahen, die Ergebnisse der Praxis scheinen aber das Gegenteil zu beweisen. Es kann hierbei natürlich nur von einer Wahrscheinlichkeit der Strombereitschaft gesprochen werden, da es ja wohl unmöglich sein wird zu behaupten, daß eine Person, die z. B. mit Hilfe eines hochgeworfenen Drahtes etwa mit einer Straßenbahnleitung von 500 Volt Kontakt sucht, sich also auf den kommenden Schlag in gewisser Weise vorbereitet und nur Brandwunden davonträgt, zu Tode ge-

kommen wäre, wenn sie nur zufällig eben diesen Draht berührt hätte. Aber die zahlreichen bekanntgewordenen Todesfälle nach zufälliger Elektrisierung durch mitunter gar nicht so hochgespannter Ströme unter sonst ähnlichen physikalischen Bedingungen scheinen doch die oben angeführte Auffassung zu bestätigen.

Der Schutz dieser Strombereitschaft kann natürlich nur bei verhältnismäßig kurzdauernden Stromdurchgängen wirksam sein, da ja bei längerer Dauer in dem als Widerstand in den Stromkreis gerichteten menschlichen Körper durch elektro-chemische Vorgänge, durch Gefäßkontraktionen und Wärmestauung Vorgänge in den Geweben eintreten, die zu schwesten bleibenden Veränderungen oder zum Tode führen können.

Vergleiche dieser Strombereitschaft mit anderen die Wirkung eines Traumas abschwächenden Bereitschaften liegen auf der Hand, man braucht nur die verschiedenen Arten des sportlichen Zweikampfes anzuführen, wo in den meisten Fällen durch willkürliche Kontraktion eines bestimmten Muskelgebietes, für das ein Trauma erwartet wird, der Körper sich für den Augenblick mit einem Muskelpanzer umgibt, der die Wirkung des meist mechanischen Schlages abhält, bzw. mindert. Während nun in diesen Fällen eine Erklärung für den Schutz leicht zu finden ist, ist die Physiologie der Strombereitschaft ein noch umstrittenes Gebiet, für das es eine erschöpfende Erklärung noch nicht gibt, da hierbei die Schutzvorrichtung zum großen Teil psychischer Natur ist.

Man muß sich daher nach den Ergebnissen mit der Feststellung begnügen, daß es eine solche Strombereitschaft gibt, die in vielen Fällen gewissermaßen eine verminderte Disposition gegenüber elektrischen Schädigungen herbeiführt.

Daß aber mitunter diese Strombereitschaft auch versagt, daß, wie verschiedene Beispiele lehren, der gleiche Mensch, der wiederholt ein elektrisches Trauma ohn Schaden erlitten hat, auf einmal dem anscheinend physikalisch gleichen Trauma erliegt, wiewohl nach den Umständen angenommen werden mußte, daß der Verunglückte sich im Zustand

der Strombereitschaft befand, ist eine Tatsache, die nicht nur nicht zur Klärung der Vorgänge beiträgt, sondern ihr eher hinderlich ist. Nur gegen *einen* Erklärungsversuch der Strombereitschaft, nämlich daß es sich um eine langsam erworbene Gewöhnung handelt, wie viele Laien, aber auch einige medizinische Autoren annehmen, sind die eben angeführten Fälle wohl ein sicherer Gegenbeweis.

Wenn bisher in dieser Abhandlung immer der Ausdruck „Strombereitschaft" gebraucht wurde, so ist dies eigentlich ein etwas zu eng gefaßter Begriff. Gewiß war in den angeführten Fällen stets nur die Aufmerksamkeit auf den möglicherweise eintretenden Strom gespannt, die Bezeichnung daher am richtigen Platze. Es ist aber, allerdings nur in Tierversuchen, bewiesen, daß auch die anderweitig gespannte Aufmerksamkeit durchaus im Sinne eines spezifischen Schutzes sich auswirkt. So wurde eine durch Bedrohung mit einem Stock aufs höchste gereizte Katze elektrisiert, worauf sie, dadurch unbekümmert, nur weiter den Stock angriff, wohingegen das gleiche Tier, von dem gleichen Strom getroffen, schwere Lähmungen davontrug, als das Trauma die ruhig dastehende Katze traf. Wenn nun trotzdem an dem Begriff „Strombereitschaft" festgehalten und nicht das weiterfassende Wort „Aufmerksamkeitsproblem", was in der Literatur wiederholt angeführt wird, gewählt wurde, so hat dies darin seinen Grund, daß es sich ja bei menschlichen Verhältnissen meist um die speziell auf das elektrische Trauma gerichtete Aufmerksamkeit handelt.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß eine ähnliche Schutzwirkung wie die Strombereitschaft die Narkose darstellt, wie durch zahlreiche Tierexperimenten festgestellt wurde. Durch mit Chloroform oder Äther betäubte Tiere konnten Ströme hindurchgeschickt werden, die bei gleicher Stärke und Spannung ein im Wachszustand befindliches Tier regelmäßig töteten. Es ist nun hieraus geschlossen worden, daß der Todeserfolg nach elektrischer Stromverletzung nicht allein auf die spezifisch elektrische Komponente des Traumas zurückzuführen sei, sondern daß auch

die „Shock"-Wirkung eine wichtige Rolle dabei spielt, eine Deutung, die ja auch die Wirkung der Strombereitschaft zu gewissen Teilen erklärt, aber wiederum bei den oben angeführten „Versagern" eine befriedigende Erklärung nicht zuzulassen scheint.

Daß nicht allein der Shock, sondern auch eine beträchtliche Gewebszerstörung für den Ausgang eines Traumas von großer Bedeutung ist, geht aus den zahlreichen histologischen Untersuchungen von Geweben tödlich Verunglückter hervor, Versuche, die von verschiedenen Autoren angestellt, im allgemeinen übereinstimmend ausgefallen sind.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen werden die krankhaften haften Symtome einer Starkstromverletzung eingeteilt in Lokalsymptone, also in Veränderungen an Ein- und Austrittsstelle, und Allgemeinsymptome. Lokal finden sich Verbrennungen 1.—3. Grades, Blutextravasate, mechanische Zerreißung und akute Urticaria-ähnliche Ödeme, alles Symptome, die sich bei der Inspektion nicht von anderen Verletzungen unterscheiden, es sei denn, daß sich an der Eintrittsstelle die sogen. Blitzfiguren finden; es sind dies verzweigte Liniengebilde von roter Farbe, wie sie vor allem auch bei echten Blitzverletzungen beobachtet werden. Diese Figuren verschwinden nach einigen Tagen und sind wohl als streifenförmige Verbrennungen 1. Grades aufzufassen. Im klinischen Verlauf zeigt isch aber, wie ich auch selbst verschiedentlich zu beobachten Gelegenheit hatte, insofern ein Unterschied gegenüber anderen chirurgischen Wunden, als der Heilverlauf ein sehr protrahierter ist, sich an Stelle eines gesunden Granulationsgewebes entweder nur sehr wenige oder aber schlaffe Granulationen sich bilden, und daß demgemäß die Epithelisierung sehr langsam vonstatten geht.

Auch mikroskopisch haben sich bei den Lokalerscheinungen keine irgendwie für Stromverletzung spezifischen Veränderungen gefunden.

Hingegen konnten bei der Untersuchung der Organe, die in der vermuteten Stromlaufbahn innerhalb des Körpers lagen, mehrfach grobanatomische und histologische Veränderungen

festgestellt werden, und zwar am eindeutigsten im zentralen Nervensystem.

Diese Veränderungen erwiesen sich als punkt- und streifenförmige Blutungen, Kapillarzerreißungen und, wenn längere Zeit seit dem Trauma verflossen war, bis der Tod eintrat, hie und da Nekrosen der um die Extravasate liegenden Gebiete. Außerdem fielen in einzelnen Fällen eigenartige Veränderungen an den Ganglienzellen auf, die Zellkerne waren bis zur Peripherie, mitunter bis in die Protoplasmafortsätze hinein verdrängt, diese selbst, sowie die Achsenzylinderfortsätze sahen vielfach verquollen aus; seltener fand sich Chromatolyse und Tigrolyse.

Im peripheren Nervengebiet ergeben sich, allerdings nur im Tierexperiment, ähnliche Bilder: Verquellung der Achsenzylinderfortsätze, die Markscheiden ohne erkennbare Zeichnung diffus hyalin verändert, die Kerne zum größten Teil geschwunden, während beim Menschen histologisch spezifische Veränderungen an peripheren Nerven noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen wurden.

In den übrigen Organen, insbesondere in der Muskulatur konnten keine sicheren Veränderungen gefunden werden, auch nicht in dem doch hochdifferenzierten Herzreizleistungssystem, sowie in der Herzmuskulatur selbst.

Da auch bei den sich über viele Jahre erstreckenden Untersuchungen verschiedenster Forscher mit geringfügigen Unterschieden gleiche Befunde, sowohl positive wie negative, erhoben wurden, ist wohl anzunehmen, daß andere Schädigungen nicht vorhanden sind, ein Ergebnis, das auch die bleibenden Veränderungen nach elektrischen Stromverletzungen zur Genüge erklärt, Veränderungen, die in den meisten Fällen unter dem Bilde einer zentralen, nur selten unter dem einer peripheren Lähmung verlaufen.

Ungleich häufiger als diese bleibenden Lähmungen im peripheren Nervengebiet werden passagere Lähmungen beobachtet, die während der kurzen Dauer ihres Bestehens funktionell das gleiche Bild bieten wie eine Neuritis anderen Ursprungs, jedoch in ihrem Verhalten gegenüber galvani-

schen und faradischen Reizen von der Reaktion des gesunden Nerven keine Abweichung aufweisen.

Panse (Lit. Nr. 24) hat eine Reihe von derartigen Fällen, allerdings handelt es sich dabei ausschließlich um Blitzschlagfolgen, zusammengestellt, in denen er die Kranken einige nach dem Trauma zur Untersuchung bekam. In den Fällen, in denen in der Anamnese eine Lähmung vorgelegen hatte, fand er außer Schwächegefühl in der betreffenden Extremität, und vereinzelt auch Sensibilitätsstörungen der Haut, keine Zeichen von überstandener Nervenschädigung, und auch diese Symptome verschwanden unter seiner Beobachtung in wenigen Tagen. Nur bei einem Kranken bestand noch eine deutliche Ischiadicusschädigung unter dem Bilde einer Neuritis mit Lasègueschen Phänomen, die aber ebenfalls in fünf Tagen zurückging.

Diese Beobachtung seien zur Vervollständigung der Kasuistik noch erwähnt, dabei aber bemerkt, daß, wenn auch der letzte Fall recht eindeutig erscheint, sich doch wesentliche klinische Folgerungen nur aus den Befunden der bleibenden Lähmungen ziehen lassen.

Für den letzteren Fall seien daher zwei Beispiele angeführt, die dem Krankenmaterial der Universitäts-Nervenklinik Greifswald entnommen sind.

Im *ersten Fall* handelt es sich um einen 28jährigen Monteur, namens Bleifuß, der eine an eine 500-Volt-Wechselstromleitung angeschlossene Dynamomaschine zu reparieren hatte. Er geriet mit einem eisernen Schlüssel, den er mit beiden Händen hielt, zwischen die Pole der Leitung, und zwar derart, daß die linke Hand und der linke Vorderarm Kurzschluß machten, während sich die rechte Hand im Nebenschluß befand. Erdung durch die Füße kam in diesem Falle nicht in Betracht, da ja der Strom nur den kurzen Weg zwischen Handteller und Mitte des Vorderarmes zurückzulegen brauchte. Strombereitschaft bestand, B. hatte auch schon früher mehrfach Schläge erhalten, jedoch nur bei einpoliger Berührung. Es war ihm nicht möglich, die verkrampfte linke Hand loszureißen; auf seine Schreie wurde der Strom sofort, nach etwa 5 Sek., unterbrochen.

Erster Befund: Handteller links und Endphalangen des 4. und 5. Fingers verkohlt, auf der Beugeseite des linken Unterarmes zwei kraterförmige Substanzdefekte mit brandigen Rändern. An der rechten Hand äußerlich nihil. Nach dem Unfall außer den örtlichen Erscheinungen häufig Kopfschmerzen, leichte Erregbarkeit, Armzittern und Schwächegefühl in beiden Beinen.

Die Wunden des linken Armes heilten sehr langsam, völlige Vernarbung erst nach ½ Jahr.

Untersuchung 2 Jahre nach dem Unfall:

Kontrakturstellung des rechten Ringfingers, knotenförmige Verdickungen in der Haut der Beugeseite ebenda.

Linke Hand: Atrophie sämtlicher kleinen Handmuskeln, Neigung zu vasomotorischen Störungen der Haut mit Schweißausbruch. Finger frei beweglich, Gelenke frei.

Röntgenbild der Hand: o. B.

Elektrische Prüfung: Faradisch o. B.

Galvanisch werden nur im adductor pollicis und im Kleinfingerballen wurmförmige Zuckungen ausgelöst.

Sensibilität: wechselnde Angaben, aber anscheinend ungestört.

Nach dem anatomischen Bild und dem Ausfall der Funktionsprüfung haben wir es demnach nicht mit einem kompletten Ausfall eines der drei großen Nervenstränge (n. medianus, radialis und ulnaris) zu tun, sondern nur mit Lähmungserscheinungen in den Endästen des n. ulnaris und n. medianus.

Nach den experimentellen histologischen Befunden, die oben erwähnt wurden, ist die Teillähmung neurogen durchaus zu erklären, da sich ja im Tierversuch inselförmige Degenationsherde im Nerven fanden, und außerdem im vorliegenden Falle nur eine kurze Stromeinwirkung stattfand, so daß anzunehmen ist, daß entweder nur einzelne Nervenelemente der drei Hauptnerven oder aber nur einige Muskeläste betroffen wurden.

Wesentlich eindeutiger ist der *zweite Fall,* der einen 71jährigen Landarbeiter, namens Kramer, betrifft, und der

dadurch noch besonderes Interesse bietet, weil K. 6 Jahre vor dem den rechten Arm betreffenden elektrischen Unfall schon einen Unfall am gleichen Gliede erlitten hatte. Er war vom Wagen gefallen und hatte sich das rechte Schlüsselbein gebrochen; das rechte Schultergelenk blieb danach steif, anscheinend infolge des zu lange getragenen Ruheverbandes. Kr. soll aber trotzdem, wie durch Zeugen belegt ist, später wieder gearbeitet haben und durch die Verletzung nicht wesentlich behindert gewesen sein.

Der jetzige Unfall ereignete sich derart, daß Kr. — nach seinen Angaben — die Zuleitung eines mit 220 Volt Wechselstroms betriebenen Motors mit der rechten Hand aus Unachtsamkeit erfaßte. Da Kr. in Holzpantoffeln auf Lehmboden, also außerordentlich schlecht geerdet stand, ist anzunehmen, wie oben gesagt, daß er nicht nur eine, sondern beide Polklammern berührte und der Strom nicht durch den Körper ging, sondern an einer anderen Stelle der Hand sich die zweite Berührung vollzog. Er ist etwa 3 Minuten im Kontakt gewesen und dann losgerissen worden. Nach dem Unfall sei er mehrere Stunden bewußtlos gewesen, der rechte Arm sei seither nicht wieder zu gebrauchen gewesen. Befund: Rechter Arm schlaff. Haut schwarzblau verfärbt; beim Gehen wird mit der linken Hand der rechte Vorderarm im distalen Drittel unterstützt, die rechte Hand hängt dabei herab nach Art einer Radialislähmung. Pronation von Hand und Arm in geringem Maße möglich. Supination fällt aus, Hand fällt in ihre ursprüngliche Lage wieder zurück. Ellenbogenbewegung aktiv 80—110 Gr., passiv 80—130 Gr., Schultergelenkabduktion 25—30 Gr. aktiv, bis etwa 40 Gr. passiv möglich. Umfang des Oberarms R 25, L 27 cm, Unterarm rechts wie links 23½ cm.

Finger rechts in leichter Beugestellung gehalten, Endphalange des Daumens verkrüppelt (Kontaktstelle).

Hand kühl, trocken, trophische Störungen an den Fingernägeln.

Atrophie nur in den kleinen Handmuskeln.

Spontanbewegung der Finger nur andeutungsweise möglich. Das Radialisgebiet fällt vollkommen aus.

Sensibilität auf dem ganzen Vorderraum einschließlich der Hand nur für starke Reize erhalten.

Bei der elektrischen Prüfung mit dem faradischen Strom ist nur der m. biceps bei Anwendung starker Ströme etwas erregbar. Bei der galvanischen Reizung zeigt sich nur der m. biceps stark in der Erregbarkeit herabgesetzt; keine Entartungsreaktion. Hand- und Fingerstrecker sowie die mm. interossei sind unerregbar, nur in der Daumenballenmuskulatur tritt deutliche wurmförmige Zuckung auf.

Eine kritische Betrachtung dieses Falles zeigt also, daß hier die Schädigung im plexus brachialis lokalisiert ist. Die Erklärung für eine so hochsitzende, von der Strom-Ein- und Austritsstelle verhältnismäßig weit entfernt liegende Schädigung scheint mit einerseits in der langen Dauer des Stromdurchgangs gegeben zu sein, sodann dürfte aber auch die Möglichkeit nahe liegen, daß der plexus infolge der früher überstandenen Schulterverletzung einen locus minoris resistentiae darstellte, der einer Nervenschädigung günstige Unterlagen schuf.

Während im Falle I ein stärkerer Strom im Körper bei wenige Sekunden dauernder Einwirkung nur mäßige Schädigungen nach sich zog, hat hier ein Strom von niedrigerer Spannung und Stärke viel umfangreichere Degenerationen zur Folge gehabt. Dies ist einmal auf die lange, mindestens über drei Minuten sich erstreckende Dauer des Stromdurchgangs zurückzuführen, — abgesehen von der oben erwähnten Annahme einer alten Plexusschädigung —, sodann seien aber in diesem Zusammenhang die Ergebnisse der Versuche von Rodenwald erwähnt, der feststellte, daß die Stromstärke bei gleichbleibender Zufuhr, aber längerer Durchströmung durch animalisches Gewebe zunimmt, ein Vorgang, der in unserem zweiten Falle eine nicht unwesentliche Rolle gespielt haben dürfte.

Es handelt sich demnach in beiden Fällen um Stromverletzungen, in denen mit großer Wahrscheinlichkeit der Strom nur eine kurzstreckige Körperpassage durchmachte, Ein- und Austrittsstelle dicht beieinander lagen und der übrige Körper

von elektrischen Schädigungen, jedenfalls von nachweisbaren Schädigungen, verschont blieb. Immerhin war der Strom stark genug, bzw. konnte er im zweiten Falle genügend lange einwirken, sodaß in den betroffenen Gebieten Folgeerscheinungen zurückblieben, die sicher als neurogene Atrophien, bezw. Lähmungen aufzufassen sind, zumal sie sich in ihrer Ausdehnung auf bestimmte Nervengebiete beschränkten und außerdem in ihrem elektrischen Verhalten das gleiche Bild boten, wie es in der Neurologie von peripheren Lähmungen anderer Genese hinreichend bekannt ist.

Da nun bei den zahlreichen Tierexperimenten und den an Zahl geringeren Leichenuntersuchungen niemals spezifische Muskelveränderungen, wohl aber vereinzelt am Tiernerven nach Stromeinwirkung Veränderungen gefunden wurden, die mit den am Zentralnervensystem erhobenen Befunden nach gleichen Traumen große Aehnlichkeit aufweisen, ist es wohl nicht mehr von der Hand zu weisen, daß eine Schädigung im peripheren Nerven auch beim Menschen eintreten kann.

Diese Frage ist noch umstritten, zumal die Zahl der in dem eben besprochenen Sinne wirklich als beweisend zu erachtenden Fälle noch ziemlich gering ist.

Die Aufgabe dieser Arbeit sollte es daher sein, durch Veröffentlichung zweier uns eindeutig erscheinender Fälle von peripherer Nervenschädigung durch den elektrischen Strom einen weiteren Beitrag zur Kasuistik der elektrischen Verletzungen zu geben.

Literaturverzeichnis.

1. *Baeskow, A.:* Zwei elektr. Unfälle (Mon. f. Unfallheilkunde und Invalidenwesen, 1908, J. 10).
2. *Borutten, H.:* Der Tod durch Elektrizität, Verhütung der Unfälle durch Starkstrom und Wiederbelebung durch elektrischen Strom Verunglückter. (Berl. Kl. W. 1916, S. 33).
3. *Finckelnburg, R.:* Erscheinungen von Bulbärparalyse und Acusticus-Störungen nach Starkstromverletzung. (Mon. f. Unfall. Bd. 21, S. 69).
4. *Fischl, H.:* Zur Kenntnis der Unfälle durch Elektrizität. (Wien. Kl. W. 1913, J. 36).
5. *Fürth, W.:* Starkstromunfälle im Felde. (Münchn. m. W. 1917, Nr. 28, Feldärztli. Beilage).
6. *Gildemeister, M.* und *Diegler, R.:* Zur Lehre der primären Schädigungen des Herzens durch Starkströme. (Klin. W. Bd. I, S. 1310).
7. *Horn, P.:* Ueber Blitz- und Starkstromläsionen des Nervensystems. (Deutsch. Ztschr. f. Nerv. Bd. 54, J. 5).
8. *Jellinek, St.:* Beobachtungen bei Elektrizitätsarbeitern. (Wien. kl. W. 1900, S. 51).
9. — Der elektrische Unfall. (Z. i. Wien. b. Fr. Denticke, 1927).
10. — Elektropathologie. (Stuttgart b. Ferd. Enke, 1903).
11. — Elektropathologie. Wien. kl. W. 1910, J. 50).
12. — Elektropathologie. (Wien. kl. W. 1914, N. 3).
13. — Kasuistischer Beitrag zur Elektropathologie. (Wien. kl. W. 1910, J. 6).
14. — Pathologie, Therapie und Prophylaxe der elektrischen Unfälle. (Neurol. Zentralbl. 1907, S. 182, Autorreferat nach Vortrag).
15. — Radialislähmung und trophische Störungen als Folge eines elektrischen Unfalles. (Wien. kl. W. Bd. 33, S. 873).
16. — Zwei elektrische Scheintote, wiederbelebt nach 1 und 3 Stunden durch künstliche Atmung. (Wien. kl. W. Bd. 36, S. 832).
17. *Kawamura, J.:* Elektropathologische Histologie. (Virch. Arch. f. path. Anat. usw. Bd. 231. S. 170).
18. *Kurella:* Elektr. Gesundheitsschädigungen am Telefon. (Abhandl. a. d. Geb. und Elektrotherapie ukw. Leipz. 1905, b. I. A. Rath).

19. *Mader:* Casuistische Mitteilungen. (Zentr. f. Neur. 1903, S. 684, Referat).
20. *Maly, G.:* Klinische Beiträge zur Kenntnis der elektrischen Unfälle. (Deutsch. Ztschr. f. Nerv. Bd. 46, S. 366ff.).
21. *Miller, Marg.:* Changes in the response to electric shock, produced by varying muscular conditions. (Referat im Zentr. f. d. ges. Neur. und Psych. Bd. 43, S. 637).
22. *Moorhead, J. J.:* Injury by electricity. (Journ. of Amer. med. Assoc. Bd. 54, H. 14, Referat).
23. *Natorp, W.:* Beiträge zur Frage der Unfälle durch elektr. Strom. (Arch. f. orthop. und Anfall-Chirurgie, Bd. 23, S. 306).
24. *Reuter, F.:* Tod durch elektrischen Starkstrom. (Viert.-Ztschr. f. Medizin und öffentl. Sanitätswesen, 1916, H. 3).
24a) *Panse, F.:* Ueber Schädigung des Nervensystems durch Blitzschlag (Mon. f. Psych. und Neurol. 1925, J. 323).
25. *Rodenwaldt, E.:* Ueber Verletzungen durch elektrische Starkströme vom gerichtsärztlichen Standpunkt. (Viert.-Ztsch. f. gerichtl. Med. usw. 1909, H. 1).
26. *Schridde, H.:* Der elektrische Stromtod. Pathologischanatomische Untersuchungen. (Klin. W. 1925, S. 2143).
27. *Schumacher*, E. D.: Unfälle durch elektrische Starkströme, eine klinische und gerichtsmedizinische Studie, (Wiesb. 1908, b. F. Bergmann).
28/29. *Spilsburry, B.:* The pathological changes produced in those rendered unconscious by electricical shock and the treatment of such casses. (Arch. of radiol. a. electrotherapie. Ref. i. Zentr. f. d. ges. Neur. und Phy. Bd. 34, S. 229, und Bd. 38, S. 186).
30. *Stier:* Beinlähmung nach Starkstromverletzung. (Gesellschaftsbericht im Zentr. f. d. ges. Neur. und Psych. Bd. 43, S. 733).
31. *Strassmann, G.:* Vier Todesfälle durch elektrischen Strom. Aerztl. Sachverständ. Zeit. Bd. 31, S. 15).
32. *Thiem, C.:* Handbuch der Unfallerkrankungen. Bd. I, S. 87ff., 1909, Stuttgart b. Ferd. Enke).
33. Unfälle im Fernsprechbetrieb. (Unter dem Reichsadler, Ztschr. der Verb. deutsch. Reichs-, Post- und Telegr. Beamtinnen 1923, J. 13).
34. *Weber, R.:* Beitrag zur Casuistik des Todes durch elektrischen Strom. (Münchn. m. W. 72, S. 566).
35. *Wernicke, C.:* Obergutachten über die Verletzung einer Telefonistin durch Starkstrom. (Mon. f. Psych. und Neur., Bd. 17, S. 266).
36. *Ziemcke, E.:* Todesfälle durch elektrischen Strom und ihre Beziehungen zum Unfall. (Mon. f. Unfall und Versich. Bd. 30, S. 107).

Lebenslauf.

Am 7. II. 1899 zu Minden in Westf. als Sohn des Arztes Dr. med. Fritz Nolte geboren, erhielt ich meine Schulbildung auf dem Königl. Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Cottbus, an dem ich am 1. III. 1917 meine Reifeprüfung bestand. Bis zum Physikum, das ich im Sommer-Semester 1920 bestand, studierte ich in Marburg, unterbrochen durch 11 Monate Heeresdienst. Das Staatsexamen bestand ich am 10. I. 1923 in Greifswald mit „gut“ und bin seit 18. VI. 1923 approbiert. Nach pathologisch-anatomischer, bakteriologischer und chirurgischer Vorbildung gedenke ich, mich dem Specialgebiet der Ohrenheilkunde zuzuwenden.